



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**MOŽNOSTI VYUŽITÍ LABORATORNÍHO RTG PŘÍSTROJE
PRO ANALÝZU VNÁŠENÍ PŘEDMĚTŮ DO JADERNÝCH
ELEKTRÁREN**

THE ANALYSIS OF LABORATORY X-RAY DEVICE USING POSSIBILITIES AND DETECTION TO ENSURE
THE ENTRY INTO NUCLEAR POWER PLANT.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Vlk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Varmuža

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Petr Vlk

ID: 164793

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Možnosti využití laboratorního RTG přístroje pro analýzu vnášení předmětů do jaderných elektráren

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Rešerše používaných principů detekce RTG zařízení.
2. Analýza současných RTG detektorů pro zajištění vstupů do střežených objektů.
3. Rešerše současných legislativních požadavků na zajištění provozu a bezpečnosti provozu RTG scannerů v ČR.
4. Nastudujte manuály k laboratornímu RTG zařízení a laboratorním měřičům dávkového příkonu a vytvořte zjednodušený manuál pro obsluhu.
5. Proveďte analýzu detekčních možností laboratorního RTG detektoru s ohledem na různé druhy detekovatelných materiálů.
6. Propojte externí grafický interface s RTG detektorem a analyzujte opět možnosti detekce různých druhů materiálů.
7. Analyzujte možnosti detekce různých radioaktivních materiálů pomocí RTG přístroje.
8. Na základě znalostí legislativních požadavků na provoz RTG zařízení vytvořte Laboratorní úlohu pro ověření limitů dávkového příkonu v okolí RTG zařízení a demonstrování možností detekce a rozlišení různých typů materiálů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 5.6.2017

Vedoucí práce: Ing. Jan Varmuža

Konzultant: Ing. Karel Katovský, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

VLK, P. Možnosti využití laboratorního RTG přístroje pro analýzu vnášení předmětů do jaderných elektráren. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2017, 38 stran.

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Možnosti využití laboratorního RTG přístroje pro analýzu vnášení předmětů do jaderných elektráren jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 05. 06. 2017

.....

ABSTRAKT

Práce se zabývá využíváním RTG přístrojů pro analýzu vnášených předmětů při vstupu do jaderné elektrárny. Popisuje principy vzniku a detekce RTG záření a techniky používané v současných RTG přístrojích. Součástí práce je analýza legislativních požadavků spojených se zabezpečením jaderných elektráren a provozem RTG přístrojů. Přínosem práce je navržená laboratorní úloha s využitím RTG přístroje Heimann HI-SCAN 6040-A, v níž je prakticky demonstrována detekce a rozlišení analyzovaných předmětů a různých typů materiálů. Nedílnou součástí je ověření limitů dávkového příkonu v okolí laboratorního RTG přístroje na základě znalosti legislativních požadavků.

KLÍČOVÁ SLOVA: RTG přístroj; jaderná elektrárna; legislativní požadavky; laboratorní úloha; měření dávkového příkonu; limit dávkového příkonu

ABSTRACT

The thesis deals with the use of X-ray device for analysis of imported objects when entering a nuclear power plant. It describes the principles of X-ray generation and detection and techniques used in current X-ray devices. The thesis includes analysis of legislative requirements related to the safety of nuclear power plants and operation of X-ray devices. The benefit of the thesis is a proposed laboratory task using the Heimann HI-SCAN 6040-A X-ray device, which demonstrates detection and differentiation of analyzed objects and various types of materials. An integral part is the verification of the dose rate limits near the laboratory X-ray device, based on the knowledge of the legislative requirements.

KEY WORDS: X-ray device; nuclear power plant; legislative requirements; laboratory task; verification of the dose rate limits; dose rate limits

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	9
SEZNAM PŘÍLOH.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD.....	12
2 OBJEV RENTGENOVÉHO ZÁŘENÍ	13
2.1 CHARAKTERISTICKÉ ZÁŘENÍ	13
2.1.1 PŘÍMÝ PROCES VZNIKU CHARAKTERISTICKÉHO ZÁŘENÍ	13
2.1.2 NEPŘÍMÝ PROCES VZNIKU CHARAKTERISTICKÉHO ZÁŘENÍ.....	13
2.2 BRZDNÉ ZÁŘENÍ	14
2.3 ZÁŘENÍ KOLEM NÁS	14
2.3.1 PŘÍRODNÍ ZDROJE ZÁŘENÍ.....	14
2.3.2 UMĚLÉ ZDROJE ZÁŘENÍ.....	15
2.4 ÚČINKY ZÁŘENÍ NA LIDSKÝ ORGANIZMUS	15
2.4.1 STOCHASTICKÉ ÚČINKY NA LIDSKÝ ORGANIZMUS	16
2.4.2 DETERMINISTICKÉ ÚČINKY NA LIDSKÝ ORGANIZMUS	16
3 HLAVNÍ ČÁSTI RTG	17
3.1 RENTGENKA	17
3.1.1 KATODA RENTGENKY	17
3.1.2 ANODA RENTGENKY	18
3.1.3 NAPÁJENÍ RENTGENKY	19
3.2 DETEKCE RTG ZÁŘENÍ	20
4 HLAVNÍ POUŽITÍ RENTGENOVÝCH PŘÍSTROJŮ	21
4.1 VYUŽITÍ V LÉKAŘSTVÍ.....	21
4.1.1 URČOVÁNÍ DIAGNÓZY	21
4.1.2 RADIOTERAPIE	22
4.2 PRŮMYSLOVÉ VYUŽÍVÁNÍ RENTGENU	23
4.3 NEUTRONOVÁ RADIOGRAFIE	23
5 OCHRANA STŘEŽENÝCH OBJEKTŮ.....	24
5.1 RENTGENOVÉ PŘÍSTROJE PRO KONTROLU OSOB.....	24
5.2 RENTGENOVÉ PŘÍSTROJE PRO KONTROLU ZAVAZADEL	24
5.3 RÁMOVÝ DETEKTOR KOVŮ	25
6 FYZICKÁ OCHRANA.....	26
6.1 ROZDĚLENÍ PROSTOR DLE FYZICKÉ OCHRANY	26
6.2 KONTROLA OSOB PŘI VSTUPU A ODCHODU	28
6.2.1 KONTROLA PŘEDMĚTŮ	28

7 POHLED LEGISLATIVY NA ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ	29
7.1 NEVYZNANÉ ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.....	29
7.2 DROBNÉ ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ	29
7.3 STANOVISKO SÚJB K POUŽÍVÁNÍ RENTGENŮ PRO KONTROLU OSOB	29
8 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY	30
8.1 LABORATORNÍ RENTGEN.....	30
8.2 ZÁKLADNÍ POPIS RENTGENU HEIMANN HI-SCAN 6040-A	31
8.3 MĚŘENÍ RENTGENU DLE LEGISLATIVNÍCH PODMÍNEK	32
8.4 ANALÝZA PŘEDMĚTŮ RTG PŘÍSTROJEM	34
9 ZÁVĚR.....	36
POUŽITÁ LITERATURA	37

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Princip vzniku charakteristického záření a brzdného záření [19]</i>	14
<i>Obr. 2-2 Znázornění podílů záření na člověka[23]</i>	15
<i>Obr. 2-3 Výskyt rakoviny vyvolané ozářením v porovnání se spontánním výskytem rakoviny[7]</i> .	16
<i>Obr. 2-4 Závislost deterministických účinků vzhledem na možné maximální poškození organismu. [8]</i>	16
<i>Obr. 3-1 Schéma rentgenky[9]</i>	17
<i>Obr. 3-2 Schématický detail katody rentgenky[10]</i>	18
<i>Obr. 3-3 Schématické zobrazení obou možných konstrukčních variant rentgenky s rotační anodou.[1]</i>	19
<i>Obr. 4-1 Jeden z prvních rentgenových snímků[20]</i>	22
<i>Obr. 4-2 Snímek z tomografu[21]</i>	22
<i>Obr. 5-1 Zobrazení zavazadla v rentgenu[22]</i>	25
<i>Obr. 6-1 Příklad rozdělení prostor dle fyzické ochrany[16]</i>	27
<i>Obr. 6-2 Příklad zařízení pro kontrolu osob[16]</i>	28
<i>Obr. 8-1 Heimann HI-SCAN 6040-A</i>	30
<i>Obr. 8-2 Otevřený model Heimann HI-SCAN 6040-A</i>	31
<i>Obr. 8-3 Nástavec na měřicí přístroj</i>	32
<i>Obr. 8-4 Přípravek k měření</i>	32
<i>Obr. 8-5 RTG snímek přípojnice</i>	34
<i>Obr. 8-6 Snímek batohu z Heimann HI-SCAN 6040-A</i>	35

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 8-1 Naměřené hodnoty na pravé straně RTG přístroje.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 8-2 Naměřené hodnoty na levé straně RTG přístroje</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 8-3 Naměřené hodnoty na straně vstupu RTG přístroje</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 8-4 Naměřené hodnoty na straně výstupu RTG přístroje.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 8-5 Naměřené hodnoty na horní straně RTG přístroje</i>	<i>33</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – umístění měřících bodů pro pravou a levou stranu RTG přístroje	- 1 strana
Příloha č. 2 – umístění měřících bodů pro vstup a výstup RTG přístroje	- 1 strana
Příloha č. 3 – umístění měřících bodů na vrchní straně RTG přístroje	- 1 strana

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

RTG	rentgenové zařízení
Sv	Sievert
Gy	Gray
CT	počítačový tomograf
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost

1 ÚVOD

Od okamžiku, kdy v roce 1895 W. C. Röntgen poprvé objevil rentgenové paprsky, se ve světě našlo velké množství aplikací pro toto záření také nazývané záření X. Jelikož toto neviditelné záření prostupuje pevnou hmotou lze jej využívat pro zobrazování věcí, které bychom normálně nebyly schopni pozorovat. Kupříkladu v lékařství pro určování diagnóz, dále při zkoumání různých předmětů a v neposlední řadě taky pro bezpečnostní účely třeba na letištích a dalších střežených prostorech.

V průběhu více než 120 let lidstvo zdokonalovalo technologii pro generování a zachycování rentgenového záření. Díky tomuto postupnému vývoji máme v současné době dostupné nepřeberné množství přístrojů, které se dají použít pro snímání obrazu rentgenovými paprsky. Tyto přístroje se liší v možnostech využití i konstrukci.

Postupem času se také přicházelo i na nebezpečí, které hrozí při delším vystavením rentgenovým paprskům. Tudíž je třeba dbát na dodržování pravidel a bezpečnostní opatření při obsluze zdrojů ionizujícího záření.

V současné době, vzhledem na zvyšující se bezpečnostní rizika, se kladou neustále vyšší nároky na zabezpečení jaderných elektráren. V návaznosti na tuto situaci dochází ke změnám legislativních požadavků jak na výstavbu nových jaderných elektráren, tak i pro bezpečný chod již fungujících jaderných elektráren. Nedílnou součástí zabezpečení jaderných elektráren je také kontrola zaměstnanců a osob vstupujících do prostor elektrárny. Jedním stupněm kontroly je kontrola zavazadel při, které se využívám rentgenových přístrojů. Důvodem použití rentgenových přístrojů je jejich schopnost odhalení i skrytých předmětů a také rychlost oproti manuální kontrole.

2 OBJEV RENTGENOVÉHO ZÁŘENÍ

Jak již bylo zmíněno v úvodu, rentgenové záření objevil německý fyzik Wilhelm Conrad Röntgen v roce 1895 při studiu elektrického výboje pod vysokým napětím ve zředěných plynech.

Rentgenové záření je elektromagnetické nepřímo ionizující záření s vlnovou délkou 1pm až 10nm. Toto záření vzniká v rentgenové trubici.

Rentgenová trubice jinak nazývaná rentgenka je speciální vakuová elektronka. Rentgenka, je z elektromagnetického hlediska obyčejná dioda, která je zapojena do obvodu s vysokým napětím 20-200kV. Elektrony, které jsou emitovány ze žhavené katody, jsou následně urychlovány silným elektrickým polem a přitahovány anodou. Při dopadu elektronu na anodu dochází k prudkému zpomalení a v důsledku tohoto zpomalení se část energie elektronu přemění na elektromagnetické záření. [1]

2.1 Charakteristické záření

Velikost energie charakteristického záření není určena anodovým napětím, ale závisí na materiálu diody (respektive na protonovém čísle materiálu, ze kterého je dioda vyrobena).

Vznik tohoto záření sice nezávisí na energii elektronu, ale i tak elektron potřebuje určitou energii, aby dokázal vyrazit elektron z elektronové slupky atomu.

Charakteristické záření vzniká v důsledku dvou základních procesů a to přímo a nepřímo.[1][2]

2.1.1 Přímý proces vzniku charakteristického záření

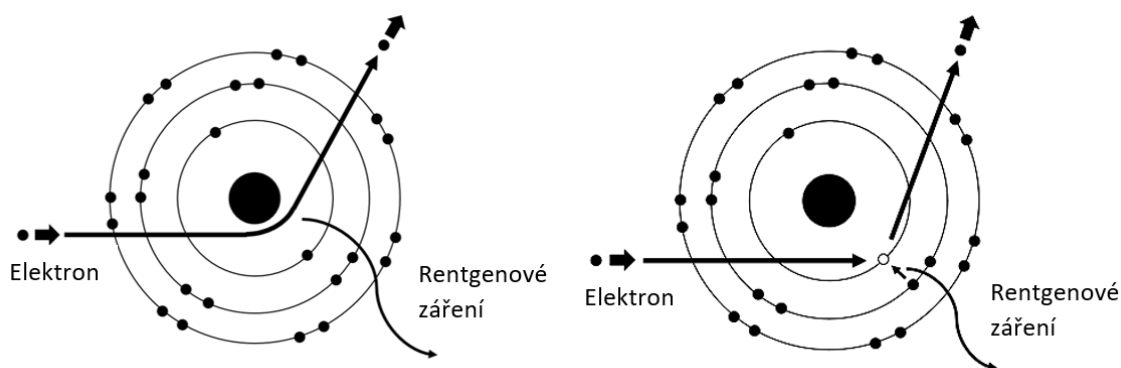
Jedná se o přímý proces impaktního fotoefektu. Vyrazil-li elektron například ze slupky K (nejbližší slupka jádru atomu) dojde k destabilizaci této slupky a prázdné místo po elektronu musí být nahrazeno elektronem z vyšší slupky třeba L (druhá nejbližší slupka atomu). Rozdíl vazebné energie mezi těmito slupkami je vyzářen ve formě charakteristického záření. Proces vzniku charakteristického záření je naznačen na obrázku č. 2-1 v pravé části.[1][2]

2.1.2 Nepřímý proces vzniku charakteristického záření

V tomto případě se jedná o nepřímý proces fotoelektrické absorpce brzdného záření. Při vzniku brzdného záření dochází i k působení na strukturu atomu a v důsledku toho také k uvolnění elektronu z vazeb atomu. Dále dochází ke stejnému jevu jako u impaktního fotoefektu.[1][2]

2.2 Brzdné záření

Brzdné záření vzniká rychlou změnou rychlosti a směru letícího elektronu. Přičemž vychýlení je dáno množstvím protonů v jádře atomu (je tedy vhodnější využívat prvky s velkým protonovým číslem). K těmto rychlým změnám v rychlosti a směru dochází díky působné Coulombových sil. Tento proces je vyobrazen na obrázku č. 2-1 vlevo.[1][3]



Obr. 2-1 Princip vzniku charakteristického záření a brzdného záření [19]

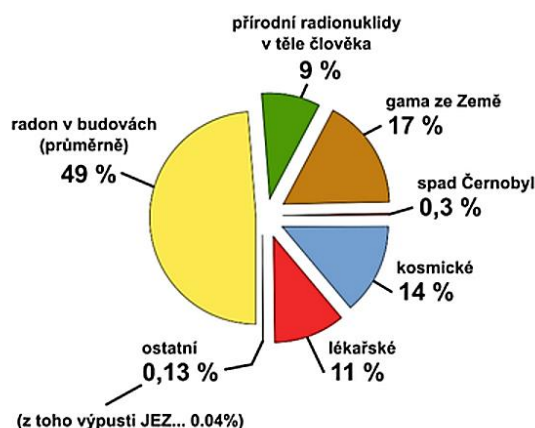
2.3 Záření kolem nás

S radioaktivním zářením docházíme do styku každodenně. Zejména se jedná o přírodní zdroje (na toto záření je lidský organizmus zvyklý). Dále se v běžném životě potýkáme s umělými zdroji, a to například při léčebných procedurách.

2.3.1 Přírodní zdroje záření

Za přírodní zdroje záření se uvažují hlavně Slunce, hvězdy a samotná Země, které vyzařují do dalekého okolí velké elektromagnetické záření.

- Z kosmického záření dostane každý člověk na Zemi přibližný dávkový příkon 0,25-0,3 mSv
- Ze samotného pobytu na Zemi a pohybu v budovách každý člověk dostane zhruba 0,35 mSv. Toto je způsobeno především radioaktivními látkami v samotné zemské kůře a také využíváním těchto hornin jako stavební materiál.
- Další dávku člověk dostává přímo ze vzduchu přibližně 1-3 mSv. Toto způsobeno především tím, že ve vzduchu se vyskytují další plyny, z nichž jsou některé také radioaktivní.
- Také určitou dávku všichni obdrží přímo z jídla a pití přibližně 0,2 mSv. Jelikož rostliny absorbují radioaktivní látky z půdy.[4]



Obr. 2-2 Znáznornění podílů záření na člověka[23]

2.3.2 Umělé zdroje záření

Využíváním radioaktivních zdrojů v lékařství dostáváme při každé takové proceduře jistou dávku záření, ale tato dávka je v porovnání s prospěchem pro nás dostatečně malá.

- Vyšetření fyziologických procesů 1-10 mSv
- Rentgen břicha: 1 mSv
- Rentgen kyčle: 0,3 mSv
- Rentgen lebky: 0,07 mSv

Další různé malé zdroje, se kterými přicházíme běžně do styku.

- Určité technologie (spotřební elektronika, hodinky se svítícím ciferníkem, kde se v současnosti využívá trícium, dříve radium)
- Hnojiva (draslík)
- Těžba vzácných hornin
- Atmosférický spád ze zkoušek jaderných zbraní [5][24]

2.4 Účinky záření na lidský organizmus

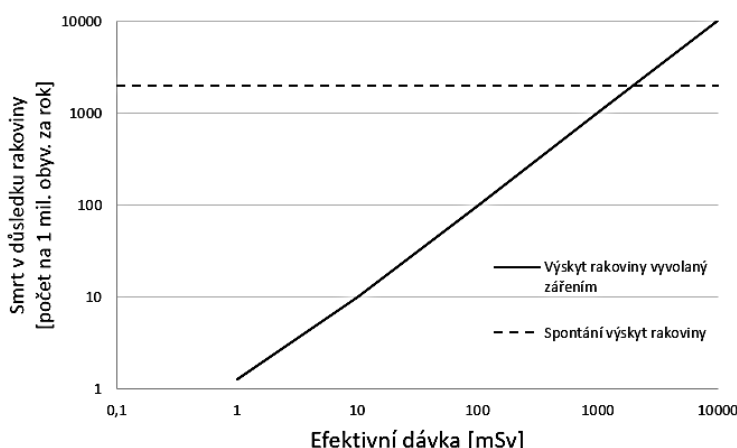
Na nepříznivé účinky pro lidský organizmus se přicházelo až postupem doby. Tudíž v současnosti je obecně známo, že ionizující záření škodí lidskému organismu, ale přesto je stále využíváme díky tomu, že přínos převyšuje rizika.

Při malých dávkách záření do 100 mSv jsou s současné době účinky na lidský organizmus neprokazatelné. Avšak od této hranice výše lze prokázat účinky na lidský organizmus (většinou spojené s výskytem rakoviny). Tudíž se zjistilo, že na usmrcení jedince je potřeba malé množství energie ve formě záření.

Dále můžeme účinky na živý organizmus rozdělit do dvou skupin a to na Stochastické účinky a na Deterministické účinky.[6]

2.4.1 Stochastické účinky na lidský organizmus

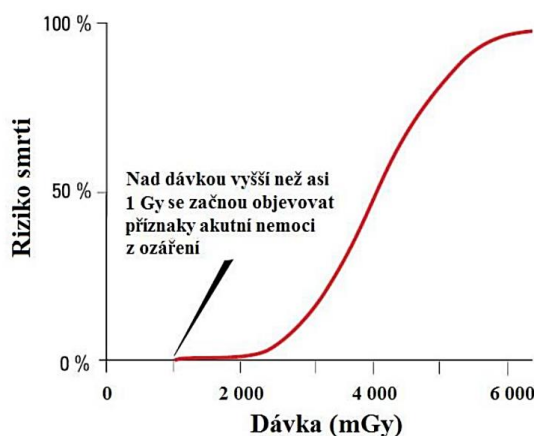
Stochastické účinky ozáření se velice těžko zjišťují, jelikož mají velmi dlouhou dobu latence, nejsou lokální a vyskytují se s určitou pravděpodobností. Jedná se především o výskyt různých forem rakoviny. Avšak účinky mají určitou genetickou závislost (každý jedinec je náchylný jinak). Pro odhad těchto účinků se používají nominální koeficienty rizika (na základě těchto koeficientů je možné předpovědět výskyt rakoviny v ozářené populaci).[7]



Obr. 2-3 Výskyt rakoviny vyvolané ozářením v porovnání se spontánním výskytem rakoviny[7]

2.4.2 Deterministické účinky na lidský organizmus

Na rozdíl od stochastických účinků jsou deterministické velmi snadno dokazatelné, jelikož se projevují okamžitě a jsou také lokální. Projevují se až po překročení dávkového prahu (přibližně 0,5 Sv). Zároveň u těchto účinků se vzrůstající dávkou velmi roste i míra poškození organismu. Hlavními projevy deterministických účinků jsou akutní nemoc z ozáření a akutní poškození kůže. Závislost deterministických účinků na poškození organismu, je zobrazena na obrázku č. 2-4.[8]



Obr. 2-4 Závislost deterministických účinků vzhledem na možné maximální poškození organismu. [8]

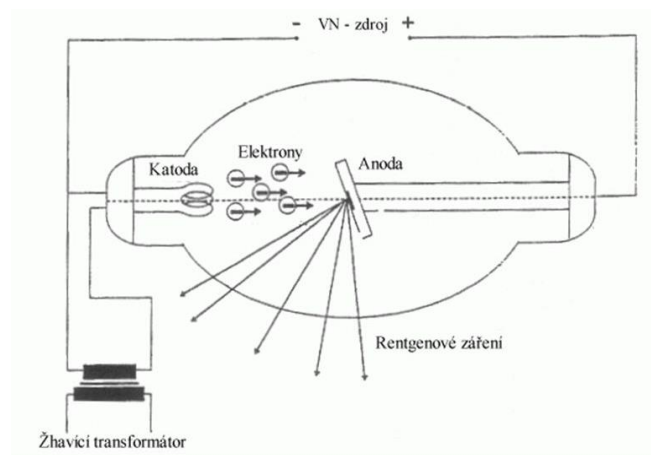
3 HLAVNÍ ČÁSTI RTG

Rentgeny jsou tvořeny různých částí. Skladba i množství těchto částí se liší při různém využívání rentgenového přístroje. Avšak v každém přístroji je rentgenka jako zdroj rentgenového záření a detektor pro zachycení záření, které je ovlivněno zkoumaným předmětem. V současné době je další nedílnou součástí každého rentgenu i počítač na zpracování dat, které zachytil detektor. Další důležitou částí je také stínění, které chrání především obsluhu rentgenových přístrojů, aby mohly pracovat v bezpečném prostředí.

Další části se liší podle požadovaného určení přístroje. Ať už je to stůl pro pacienta či dopravníkový pás na přepravu zavazadel.

3.1 Rentgenka

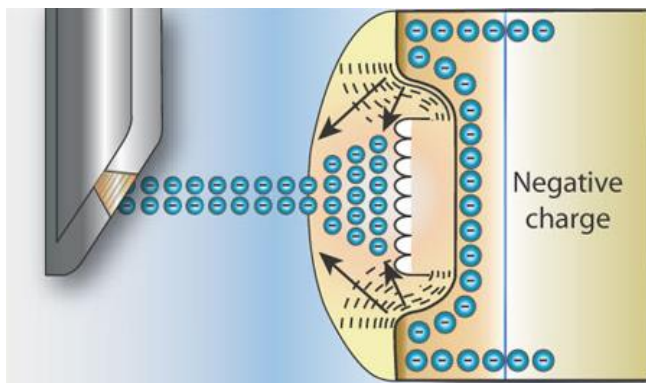
Rentgenky mají na rozdíl od standardně používaných elektronek poměrně robustní konstrukci, a to hlavně ze dvou důvodů. Prvním z těchto důvodů je používané vysoké napětí, které dosahuje až stovek kilovoltů. Druhým hlavním důvodem takto robustní konstrukce je velké zahřívání anody z díky dopadajících elektronů, když elektron dopadne na anodu, malá část jeho energie se přemění na RTG záření (přibližně 1%) a zbylé množství jeho původní energie na teplo (přibližně 99%).[9]



Obr. 3-1 Schéma rentgenky[9]

3.1.1 Katoda rentgenky

Katoda je nejčastěji spirálovitě stočené wolframové vlákno, které bývá umístěno ve fokusační misce. Samotným průchodem napětí dochází k samovolnému uvolňování elektronů z katody, dále se množství emitovaných elektronů navýší průchodem proudu (cca 6-8 A). Ve výsledku se vlákno zahřeje na vysokou teplotu a dochází tedy k termoemisi.[10]



Obr. 3-2 Schématický detail katody rentgenky[10]

3.1.2 Anoda rentgenky

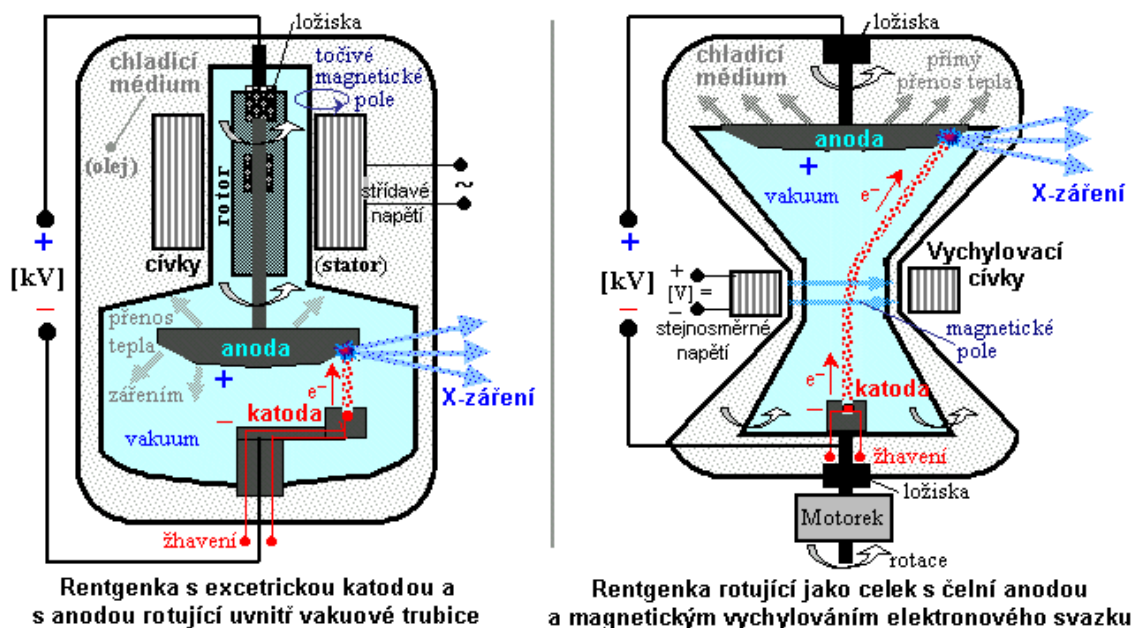
Anoda jinak také nazývána jako terčík. Nejčastěji se vyrábí z wolframu díky jeho dobrým tepelným vlastnostem a vysokému protonovému číslu. Anody rentgenek se vyrábí ve dvou variantách, a to pevné a rotační (v současné době se více využívají rotační z důvodu lepšího chlazení). [1][10]

3.1.2.1 Rotační anoda rentgenky

Terčík je pevně spojen s rotorem, který je celý umístěn ve vakuu. Stator je umístěn vně vakuové buňky a je buzen střídavým proudem. Anoda (rotor) je tedy poháněna střídavým magnetickým polem, rychlost otáčení se řídí pomocí změn frekvence (v nejmodernějších přístrojích dosahuje rychlost otáčení až 20000 ot/min).

V současné době je rentgenky s rotační anodou možné vyrábět ve dvou konstrukčních variantách:

- **Rentgenka s excentrickou katodou a s anodou rotující uvnitř vakuové trubice.** Rotace takto konstruované anody je zajištěna elektromagneticky. Celá anoda i s ložisky je ve vakuu a hlavním problémem takto konstruovaných rentgenek je tedy mazání a opotřebení ložisek. V modernějších rentgenkách tohoto typu je mazání zajištěno tenkou vrstvou roztaveného kovu (většinou galium z důvodu nízkého modu varu 130°C). Avšak velkou výhodou tohoto konstrukčního provedení je menší náchylnost na poškození anody z důvodu případného výpadku napájení rotačního zařízení. Schématické zobrazení této konstrukce je na obrázku č. 2-3 vlevo.
- **Rentgenka rotující jako celek s čelní anodou a magnetickým vychylováním elektronového svazku.** Tato konstrukce se používá především u rentgenek s velkým výkonem, jelikož při tomto způsobu konstrukce je možné dosáhnout dokonalejšího chlazení. Další výhodou je také možnost lepšího mazání ložisek a případně jejich výměna. Nevýhodou této konstrukce může být ale velká závislost na napájení vychylovacích cívek (při ztrátě tohoto napájení dochází k poškození anody). Schématické zobrazení této konstrukce je na obrázku č. 2-3 vpravo.[1][10]



Obr. 3-3 Schématické zobrazení obou možných konstrukčních variant rentgenky s rotační anodou.[1]

3.1.3 Napájení rentgenky

Rentgenka vyžaduje specifické napájení, jak pro samotnou generaci X-záření, tak pro další funkce, které podporují správnou funkci. Součástí rentgenky jsou tři hlavní zdroje napájení.

Zdroj žhavicího napětí katody. Tento zdroj zajišťuje nízké napětí většinou v rozmezí 6-12 V a proud v rozmezí 0,5-10 A. pro tyto účely se využívá žhavicí transformátor.

Dalším takovým zdrojem je zdroj vysokého napětí pro urychlování elektronů v rentgence. Jedná se vysokonapěťový transformátor, který dokáže vyprodukovat napětí cca 20-150kV (při průmyslovém využití až 400kV). Avšak v novějších přístrojích jsou vysokofrekvenční zdroje napájení. Tyto zdroje jsou vybaveny usměrňovačem a vyhlazovacím filtrem. Následně tyristorový střídač přetvoří stejnosměrné napětí na střídavé napětí s ostrými peaky o mnohem vyšší frekvenci cca 10kHz. Dále signál prochází vysokonapěťovým transformátorem, kde je zesílen. Po zesílení signál prostoupí vysokonapěťovým usměrňovačem a poté je vyhlazen do koncové podoby ve vysokonapěťovém vyhlazovacím filtrem.

Posledním z hlavních napájecích částí je zdroj napájení pro rotaci anody. V tomto případě se jedná o v podstatě jednoduchý elektromotor napájený ve většině případů síťovým napětím 230/380V. Základní frekvenci otáčení anody je tedy 3000ot/min, dále se tato frekvence dá upravovat množstvím vinutí v rotoru na případně 1500, 1000, 750, 600 ot/min.[1]

3.2 Detekce RTG záření

Pro detekci rentgenového záření se nejprve využíval fotografický film. Při tomto způsobu detekce dopadající rentgenové záření způsobilo fotochemickou reakci a v místech dopadu tedy vznikala tmavší místa, přičemž míra ztmavnutí byla závislá na intenzitě záření. Tento proces je způsoben pohlcením světelného fotonu v bromidovém iontu, ze kterého se následně uvolní elektron ($\text{Br}^- + f \rightarrow \text{Br} + e^-$). Takto vzniklý elektron může být následně pohlcen iontem stříbra ($\text{Ag}^+ + e^- \rightarrow \text{Ag}$). Obraz tedy vzniká uvolňováním stříbra ze sloučeniny AgBr. V našem případě je princip stejný avšak podobná reakce vzniká ozářením ionizujícím zářením dochází tedy v radiolýze. Avšak při této metodě byla velkou nevýhodou nedostatečná citlivost a rozlišovací schopnost.

V současnosti ale spíše využíváme elektronické zobrazovací detektory v kombinaci s počítačem. Tyto detektory se vyznačují především vyšší citlivostí a vyššími rozlišovacími schopnostmi, dále při počítačovém zpracování lze obraz upravovat do požadovaných vlastností.[1] [24]

4 HLAVNÍ POUŽITÍ RENTGENOVÝCH PŘÍSTROJŮ

Hlavní využití rentgenových přístrojů je především v lékařství a v průmyslu. Dalším využitím pro tyto přístroje je také kontrola osob na věci při vstupu do střežených prostor.

4.1 Využití v lékařství

Rentgenové přístroje lékaři v současné době využívají především k diagnostice chorob a zranění (jak například vyhledávání nádorů, tak zjišťování rozsahu zlomenin). V medicíně jsou dále využívány zdroje ionizujícího záření pro radioterapii.

Osoba pracující s rentgenovým přístrojem musí dodržovat zásady ochrany před ionizujícím zářením.

4.1.1 Určování diagnózy

Díky základním vlastnostem rentgenová záření prostupovat předměty a při tom to prostupu dochází k postupnému pohlcení záření dle tloušťky a hustoty materiálu. Toto záření využíváno pro zobrazování vnitřní struktury těla (není potřeba operace).

Pro diagnostiku využíváme dvě základní technologie, klasický rentgen a výpočetní tomografie.

4.1.1.1 Rentgen

Klasický rentgen lékaři využívají především pro zjištění rozsahu a závažnosti zlomenin. Hlavně díky schopnosti kostí (vápníku a fosforu) pohlcovat větší množství záření než měkké tkáně okolo. Záření, které projde kolem kostí, se poté vyexponuje na fotografický materiál.

Velkou výhodou těchto zařízení je nenáročná manipulace a samotný proces snímkování trvá krátkou dobu. V současné době je možné využívat i zmenšených verzí rentgenu, které jsou lehce přenosné pro případy, kdy se pacient nemůže dostavit do nemocnice či není dostatek času.

Naopak nevýhodou obyčejných rentgenů je snímkování ve 2D, tudíž nemusí být na rentgenovém snímku vidět vše, co potřebujeme a je potřeba provádět snímkování z více stran. [11]



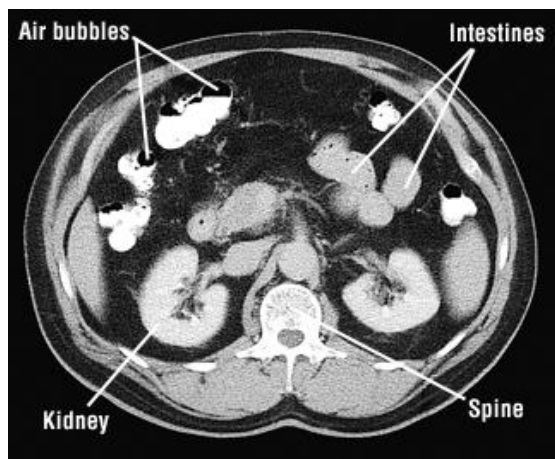
Obr. 4-1 Jeden z prvních rentgenových snímků[20]

4.1.1.2 Výpočetní tomografie

Výpočetní tomografie jinak také CT (Computerized Tomography). Tato technologie má mnohem vyšší rozlišovací schopnost než klasický rentgen (až více než stokrát) a tudíž je možné detailně zobrazit celou kostru a do určité míry i měkké tkáně, popřípadě je možné použít i kontrastní látky pro zvýraznění určitých částí těla (například žíly a tepny).

Díky těmto vlastnostem je CT jednou z nejpoužívanějších technologií v současnosti. Používá se jak pro kompletní vyšetření po havárii, tak pro hledání rakovinotvorných ložisek, a dokonce i pro kontrolu správného srůstání zlomenin.

Tomograf dokáže vytvořit kvalitnější obraz hlavně díky tomu, že vytváří několik snímků zároveň, ale to i jeho nevýhodou (pacient tudíž dostane daleko vyšší dávku záření do těla než při vyšetření tradičním rentgenem).[11][25]



Obr. 4-2 Snímek z tomografu[21]

4.1.2 Radioterapie

Radioterapie je v principu cílené ozařování nádorů. Při této proceduře využíváme vysoko energetické zářiče, vyšší energie než u diagnostiky. Ozařováním nádorů v opakovaných cyklech dochází k usmrcení nádoru. Takového ozařování musí být velice dobře naplánované a usměrněné, jelikož zároveň s nádorem je zasažena i okolní

tkáň. Při dokonalém naplánování dostane nádor co nejvyšší možnou dávku, a přitom okolní tkáň zůstane téměř nedotčena. Avšak v současné době díky interakcím je to se současně používanými zdroji nemožné. Nejlepší výsledky má zatím protonová terapie.

Hlavní využití radioterapie se nachází hlavně u neoperovatelných nádorů či těsně před operací, aby se nádor zmenšil, a tak se snížilo riziko pro pacienta při samotné operaci. [11][12]

4.2 Průmyslové využívání rentgenu

V průmyslu rentgenové záření využíváme především v situacích, kdy je potřeba zkontrolovat vnitřní stav různých produktů či objektů. Pro tyto účely tedy využíváme nedestruktivní analýzy předmětu jedním slovem tedy defektoskopie. Defektoskopie se využívá pro zjišťování nedostatků a vad v různých materiálech, svářech či dalších spojích. Materiál se umístí do cesty záření, a pokud má nějaké vady tak se tyto místa zobrazí na detektoru. Avšak v současné době defektoskopie nalézá hlavní využití v oblasti elektroniky, a to zejména pro kontrolu správnosti zapojení malých součástek v pouzdrech. [13]

4.3 Neutronová radiografie

Tato metoda neuvžívá rentgenového záření, ale lze s její pomocí dosáhnout obdobných výsledků. Neutronová radiografie je nedestruktivní technika analýzy pomocí, které se dá dosáhnout velmi vysokého kontrastu. Jelikož neutrony mají vyšší penetraci do různých materiálů než rentgenové záření a také lépe interagují s vnitřní strukturou daných předmětů. Při využití této technologie je dokonce možné rozpoznat i materiály s blízkým protonovým číslem a také různé izotopy stejného prvku. Za pomoci této technologie dokonce lze detailně zobrazit vnitřní strukturu i rostlin. V současné době tato technologie nalézá uplatnění například při zjišťování vnitřní struktury či jejích nedostatků například v kontrastu kovové struktury vůči oleji.[26]

5 OCHRANA STŘEŽENÝCH OBJEKTŮ

U určitých objektů (budov) musíme dbát na zvýšenou bezpečnost z hlediska vnášení a vynášení nebezpečných věcí, ať už se jedná o místa, kde se manipuluje s nebezpečnými věci (jaderné elektrárny, výzkumné laboratoře), či objekty kde dbáme na zvýšenou bezpečnost čistě pro ochranu veřejnosti (letišť). V takovýchto objektech bývají zpravidla umístěny bezpečnostní rentgeny jak pro kontrolu zavazadel, tak pro kontrolu osob. Další důležitou součástí ochrany střežených objektů je fyzická ochrana, ta zahrnuje identifikaci i případnou detekci neoprávněného vstupu osob.[14]

5.1 Rentgenové přístroje pro kontrolu osob

Rentgenové přístroje pro kontrolu osob využíváme zejména pro objevení nebezpečných předmětů, které by někdo chtěl vnést do střežených objektů. Tyto přístroje jsou schopny zobrazit vždy jednu stranu těla, je tedy nutné provádět vždy více snímků a buď osoba, nebo rentgen se musí otočit. Tyto rentgeny jsou schopny pracovat velmi rychle (kontrola jednotlivce trvá řádově vteřiny) a tak urychlují kontrolu osob vstupujících do střežených prostor. Tyto rentgeny tedy zobrazují povrch skenované osoby, a tudíž dávka ozáření je velmi malá, pracují pomocí zobrazování zpětně rozptýleného záření (Comptonova záření) tohoto faktu je dosaženo využitím úzkého a slabého rentgenového záření. [14][27]

5.2 Rentgenové přístroje pro kontrolu zavazadel

Rentgenové přístroje pro kontrolu zavazadel mají většinou dopravníkový pás, který posouvá zavazadla odstíněným tunelem, kde jsou zavazadla prozářena rentgenovým zářením a následně se dá zobrazit celý obsah zavazadla velmi rychle (tyto rentgeny také velmi urychlují kontrolu při vstupu do střežených prostor). Hlavním důvodem této rychlé kontroly je schopnost počítače rekonstruovat snímek z jednořádkového detektoru, když se předmět pohybuje stálou rychlostí. Dále se černobílý snímek převádí do monochromatického obrazu pro zvýšení rozlišovací schopnosti různých předmětů.

Velkou výhodou těchto druhů rentgenů je také automatická detekce nebezpečných látek (zbraní, výbušnin, drog). Avšak automatické vyhodnocování stále souží pouze jako pomůcka pro operátora.

Dále rentgenové přístroje můžeme rozdělit podle velikosti zavazadla pro něž jsou určeny. Od drobných zavazadel přes příruční až po rozměrná zavazadla, přičemž se rozměry kontrolovaných zavazadel se pohybují od možných 550x360mm po maximálních 1800x1800mm.[14]

Díky těmto rentgenům je možné jednoduše a rychle odhalit veškeré nežádoucí předměty. Se současnou technologií počítačového zobrazování lze dále upravovat kontrasty a tím lehce zvýraznit těžší prvky na snímcích z takto provedených kontrol (například olovo ve střelivu či kov obecně).[28]



Obr. 5-1 Zobrazení zavazadla v rentgenu[22]

5.3 Rámový detektor kovů

Rámový detektor kovů je základní složkou osobní kontroly při vstupu do střežených objektů. Jedná se o nejdéle používanou technologii při těchto kontrolách, avšak s pokrokem doby již nejsou schopny detekovat všechny nebezpečné předměty, které by mohl kdokoliv vnášet do střežených prostor (nové pevné materiály na bázi polymerů a křemíku).

V současné době se stále využívají pro vyhledávání zbraní anebo pro kontrolu osob při odchodu z pracoviště (zamezení firemních ztrát).

Nejmodernější rámové detektory kovů umožňují rychlou kontrolu celého těla osoby a současně jsou schopné upozornit na nebezpečné předměty buď světelným nebo zvukovým signálem. Dále je možné pomocí nastavení rozlišovat velký kovový předmět (zbraň) od shluku menších vodivých předmětů (mobilní telefon, hodinky, klíče), současně také umožňují určit přibližnou velikost daného kovového předmětu, a dokonce v kombinaci se snifferem upozornit na přítomnost drog a výbušnin.[29]

6 FYZICKÁ OCHRANA

Hlavním účelem fyzické ochrany je zabránit neoprávněné manipulaci s jaderným zařízením či jaderným materiálem a ochrana provozovatele jaderného zařízení.

Toho se docílí zejména:

- Fyzickými bariérami, které zamezí přístupu neoprávněných osob
- Administrativní a technická opatření pro režimové chování oprávněných osob
- Monitorování a detekce osob
- Zamezení neoprávněného přístupu a neoprávněného chování

Základní prvky fyzické ochrany jsou tedy technické zázemí, administrativní opatření a fyzická ostraha.[16][17]

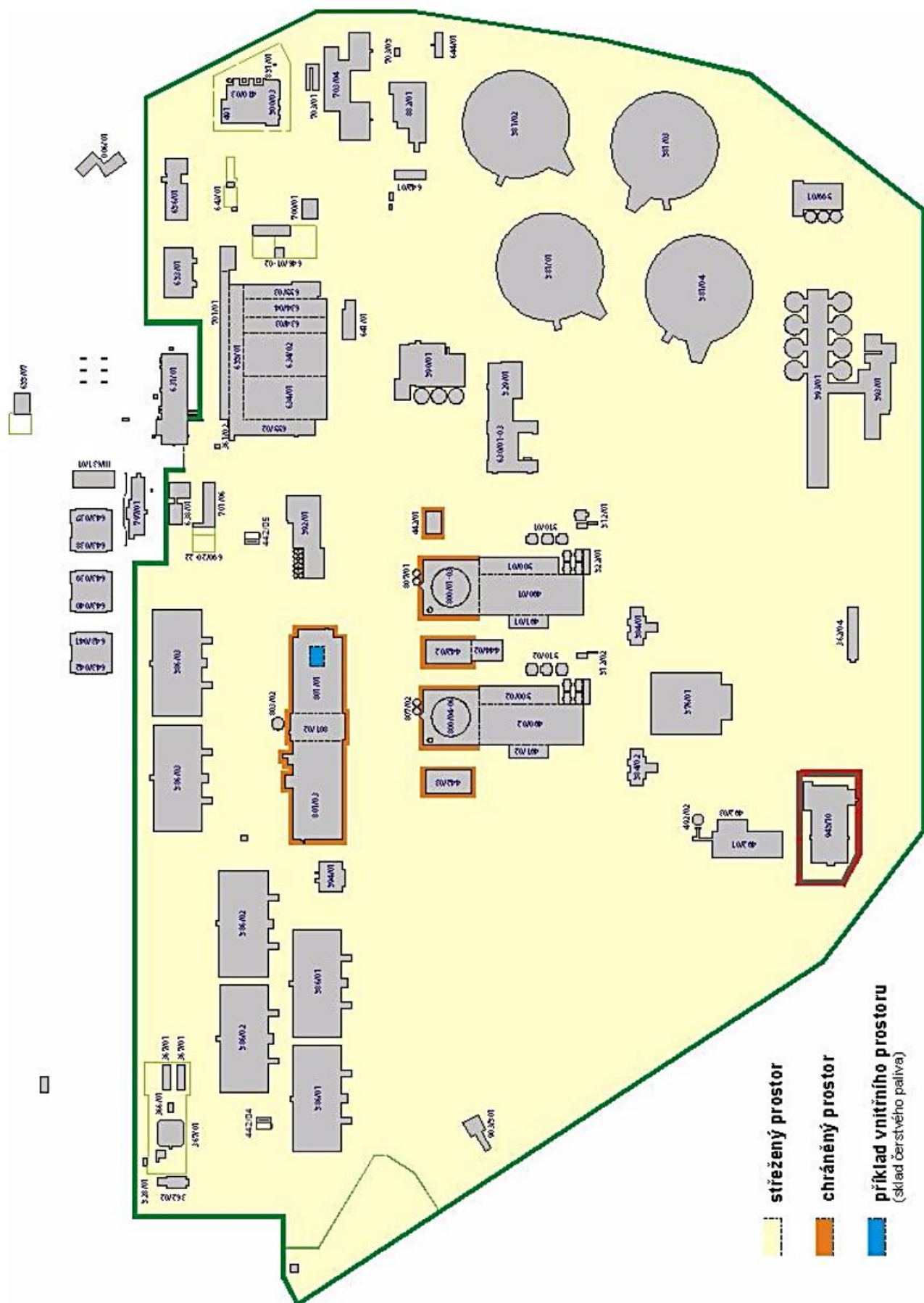
6.1 Rozdělení prostor dle fyzické ochrany

Prostory v chráněných prostorech jsou rozděleny mechanickými zábranami a dále dle stupně i dalšími elektronickými systémy pro hlídání narušení. Každá osoba, které chce vstupovat do zabezpečených prostor, musí projít školením, a tak dostat povolení ke vstupu. Povolení se uděluje podle účelu práce a také kvalifikace.

Hlavním cílem školení je seznámit každou osobu vstupující do těchto prostor se systémem fyzické ochrany, upozornit na faktory, které mohou případně ohrozit zdraví či majetek.

Rozdělení prostor:

- Střežený prostor
 - o Je to prostor ochráněn mechanickými prostředky nejčastěji tedy dvojitým oplocením se signalizací narušení oplocení a prostor, přičemž mezi těmito ploty musí být izolační zóna alespoň 6 m. Zároveň vnitřní plot musí být vysoký 3 m a vnější 2,5 m doplněný o nástavbu tak velkou, aby celková výška byla 3 m.
- Chráněný prostor
 - o Je to další bariéra uvnitř střežených prostor a je tvořena plotem o minimální výšce 2.5 m, který je doplněný nástavbou tak aby celková výška byla 3 m. Dále tento plot musí být vybaven dalšími elektronickými systémy hlídání narušení bezpečnostního pásma. Tato bariéra ochraňuje zejména důležité objekty (u jaderných elektráren třeba sklad paliva).
- Vnitřní prostor nebo životně důležitý prostor
 - o Toto jsou prostory uvnitř budov, které obsahují nejdůležitější součásti pro správný chod jaderných zařízení. V jaderných elektrárnách se v takových prostorech nachází třeba reaktory, systémová čerpadla. [16][17]



Obr. 6-1 Příklad rozdělení prostor dle fyzické ochrany[16]

6.2 Kontrola osob při vstupu a odchodu

Každá osoba, které vstupuje či odchází ze střežených prostor je povinna podrobit se kontrole. Zpravidla taková kontrola obnáší pojití rámem na detekci kovu, všechny předměty, které má dotyčná osoba s sebou musí projít rentgenovým přístrojem a dále následuje i biometrická kontrola. Dále každá osoba musí mít příslušný průkaz podle, kterého jde poznat oprávnění pro vstup do určitých prostor dle zabezpečení. [16][17]



Obr. 6-2 Příklad zařízení pro kontrolu osob[16]

6.2.1 Kontrola předmětů

Kontrola předmětů při vstupu a odchodu ze střežených prostor se provádí hlavně za pomoci rentgenového přístroje. Při takto provedené kontrole se všechny předměty zobrazí obsluze rentgenového přístroje a ta poté vyhodnotí bezpečnosti jednotlivých předmětů a případně předměty následně ohledají. Do střežených prostor se nesmí vnášet žádné zbraně, alkohol, drogy, a také ani předměty a zřízení nesouvisející s činností, kterou bude osoba provádět ve střeženém prostoru. [16][17]

7 POHLED LEGISLATIVY NA ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Zdroje ionizujícího záření rozdělujeme podle §11 vyhl. 422/2016 Sb. Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje ze dne 14. prosince 2016. Zdroje jsou rozdělovány do několika skupin:

- Nevýznamné
- Drobné
- Jednoduché
- Významné
- Velmi významné[30]

7.1 Nevyznané zdroje ionizujícího záření

Nevýznamné zdroje ionizujícího záření jsou charakterizovány dle §12 vyhl. 422/2016 Sb.

Kde je stanoveno, že do této kategorie zapadá generátor ionizujícího záření s energií nepřevyšující 5keV, a přitom není významným zdrojem. Dalším zařízením zapadajícím do této kategorie může být katodová trubice, která pracuje při menším rozdílu potenciálů než 30 kV, a příkon prostorového dávkového ekvivalentu na jakémkoliv místě je menší než 1 $\mu\text{Sv/h}$ a to ve vzdálenosti 0,1 m od povrchu.[30]

7.2 Drobné zdroje ionizujícího záření

Drobné zdroje ionizujícího záření jsou charakterizovány dle §13 vyhl. 422/2016 Sb.

Drobným zdrojem je generátor záření, který není nevýznamným nebo významným zdrojem ionizujícího záření. Dále aby zapadal do této kategorie nesmí příkon dávkového ekvivalentu přesáhnout 1 $\mu\text{Sv/h}$ a to kdekoliv na dostupné ploše zařízení ve vzdálenosti 0,1 m.

Také do této kategorie řadíme uzavřené radionuklidové zdroje, které nejsou nevýznamné zdroje ionizujícího záření.

Dalšími zařízeními v této kategorii jsou zařízení, která obsahují uzavřené radionuklidové zdroje.[30]

7.3 Stanovisko SÚJB k používání rentgenů pro kontrolu osob

V současnosti není jednotné doporučení pro používání přístrojů pro bezpečnostní kontroly osob. Evropská komise v roce 2008 zkoušela prosadit návrh pro zařazení těchto zařízení do standardní výbavy letišť. Avšak ze strany členských zemí se setkaly se značně negativním ohlasem. Tudiž každá země musí sama zaujmout přístup v souladu se místními právními předpisy.

SÚJB tedy nabylo názoru, že tento druh ozáření je neodůvodněný a požadovaného výsledku je možno dosáhnout i jinými metodami.[15]

Dále kompletní znění stanoviska je dostupné na webových stránkách SÚJB.

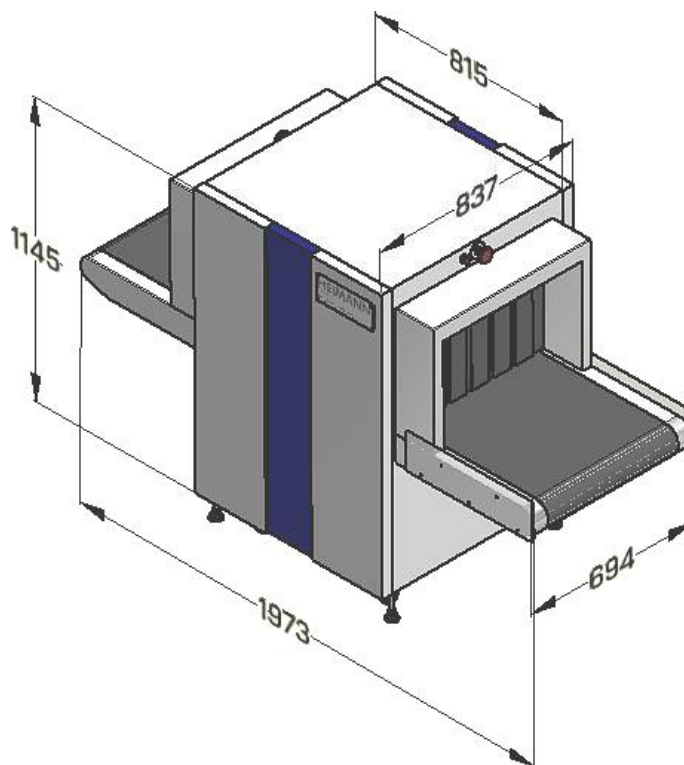
8 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY

8.1 Laboratorní rentgen

Rentgen na, kterém je prováděna úloha je Heimann HI-SCAN 6040-A. jedná se o klasický rentgen využívaný při kontrole příručních zavazadel při vstupu do střežených objektů. Tento přístroj pracuje při rozdílovém potenciálu 70 kV, a tudíž jej řadíme dle §13 vyhl. 422/2016 Sb. Do skupiny drobných zdrojů ionizujícího záření.

Tento přístroj rozpoznává kontrolované materiály dle 4096 stupňů absorpce rentgenového záření a rovnoměrně přiřazuje 22 úrovní jasu což může být následně převáděno do tří barev a jejich odstínů.

- Oranžovou barvou jsou zobrazovány organické předměty (plasty, dřevo atd.)
- Zelenou barvou jsou zobrazovány lehké kovy a směsi organických a anorganických látek
- Modrou barvou jsou zobrazovány těžší anorganické materiály (železo, olovo atd.)

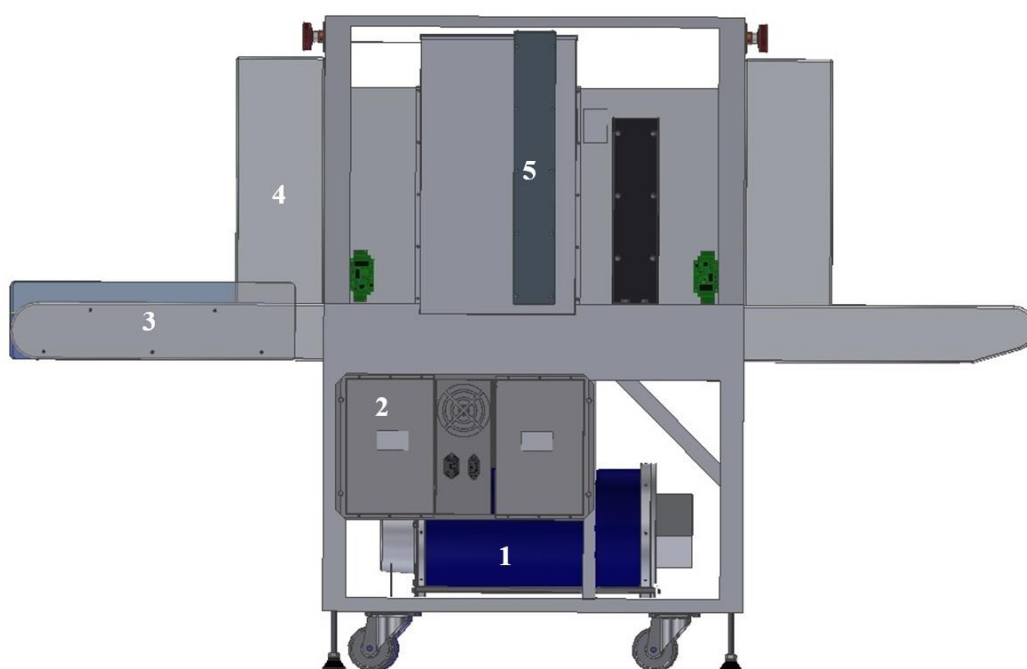


Obr. 8-1 Heimann HI-SCAN 6040-A[31]

8.2 Základní popis rentgenu Heimann HI-SCAN 6040-A

Rentgen jako takový se skládá z několika základních částí, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole. Na obrázku 8-2 je zobrazen model rentgenu bez vnějšího krytu. Dále jsou na obrázku č. 8-2 očíslovány základní součásti.

1. Rentgenová trubice (rentgenka)
2. Zdroj napájení
3. Dopravníkový pás
4. Stíněný tunel pro skenování
5. Detektor

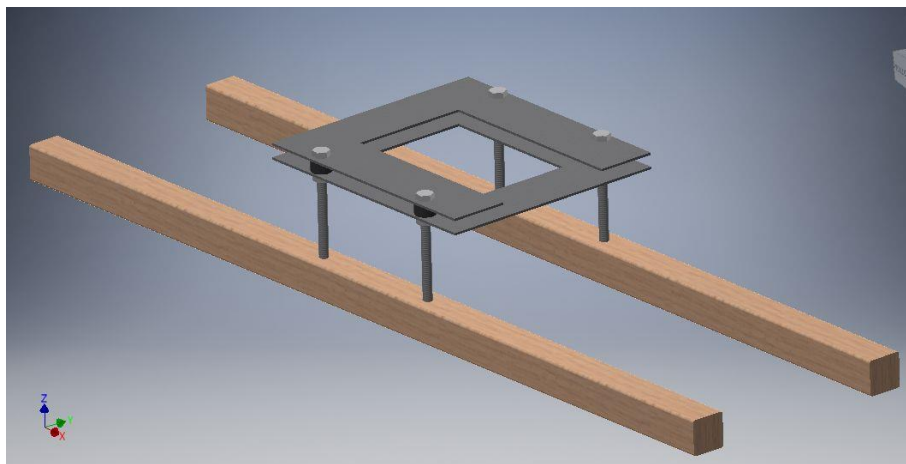


Obr. 8-2 Otevřený model Heimann HI-SCAN 6040-A[31]

8.3 Měření rentgenu dle legislativních podmínek

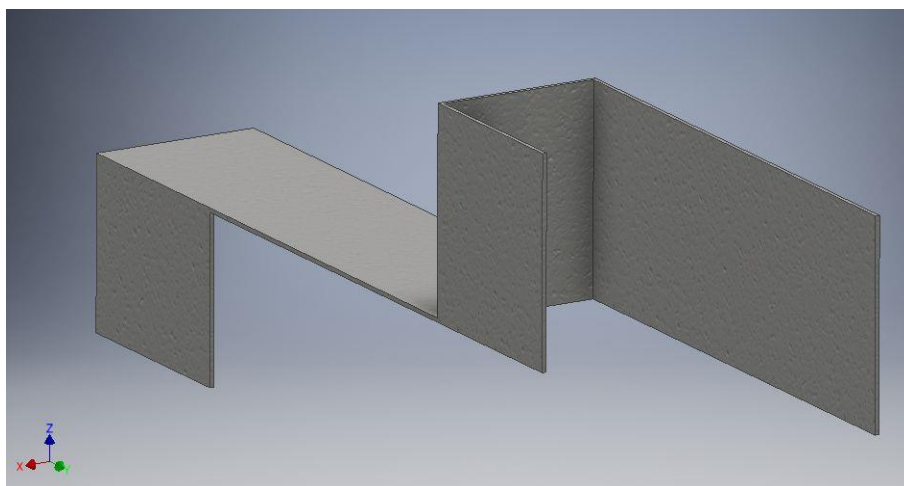
Aby laboratorní rentgen vyhovoval legislativním podmínkám pro provoz za současných podmínek, kdy je zařazen jako drobný zdroj ionizujícího záření nesmí být dávkový příkon vyšší než $1 \mu\text{Sv/h}$ a to ve vzdálenosti 0,1m na jakémkoli dostupném povrchu. Při provedení měření musí být rentgen v provozu, RTG přístroj zapneme dle návodu k obsluze.

Důležitým krokem pro provedení tohoto měření bylo tedy sestavení nástavce na měřicí přístroj. Tento nástavec musel splňovat dvě hlavní kritéria, a to pevné uchycení na měřicí přístroj. Druhým kritériem bylo dodržení již zmíněné vzdálenosti od povrchu 0,1m přičemž se musí dát přiložit na jakékoliv místo na rentgenu. Nákres toho nástavce je na obrázku č. 8-3.



Obr. 8-3 Nástavec na měřicí přístroj

Avšak aby měření bylo směrodatné musí se měřit na povrchu rentgenu, když je aktivní. Bylo tedy nutné vyrobit ještě jeden přípravek pro zaručení chodu rentgenu. Tento přípravek musí být pevně a bezpečně umístěn přes fotobuňky uvnitř tunelu, aniž by docházelo k poškození RTG přístroje.



Obr. 8-4 Přípravek k měření

Měření je prováděno na rovnoměrně rozmístěných bodech po celém povrchu rentgenového přístroje. Body jsou umístěny dle a popsány dle příloh 1 až 3. V každé z příloh jsou přiřazeny tabulky naměřených hodnot v jednotlivých bodech.

Tabulky 8-1 a 8-2 udávají naměřené hodnoty dávkového příkonu na pravé a levé straně RTG přístroje dle měřících souřadnic zobrazených v příloze č. 1.

Tab. 8-1 Naměřené hodnoty na pravé straně RTG přístroje

	A	B	C	D	E	F	G	H
[$\mu\text{Sv/h}$]	0,1	0,1	0,14	0,13	0,12	0,15	0,18	0,24

Tab. 8-2 Naměřené hodnoty na levé straně RTG přístroje

	A	B	C	D	E	F	G	H
[$\mu\text{Sv/h}$]	0,14	0,14	0,11	0,13	0,15	0,154	0,17	0,13

Další naměřené hodnoty dávkového příkonu jsou uvedeny v tabulkách 8-3 a 8-4, hodnoty byly měřeny na vstupu a výstupu RTG přístroje dle měřících souřadnic uvedených v příloze č. 2.

Tab. 8-3 Naměřené hodnoty na straně vstupu RTG přístroje

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
[$\mu\text{Sv/h}$]	0,98	1,1	1,18	0,98	1,12	1,17	0,9	1	1,01	0,19

Tab. 8-4 Naměřené hodnoty na straně výstupu RTG přístroje

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
[$\mu\text{Sv/h}$]	1,09	1,32	1,23	1,25	1,41	1,21	1,2	1,62	1,19	0,42

Podle přílohy č. 3 byly naměřeny hodnoty dávkového příkonu na horní straně RTG přístroje, hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 8-5.

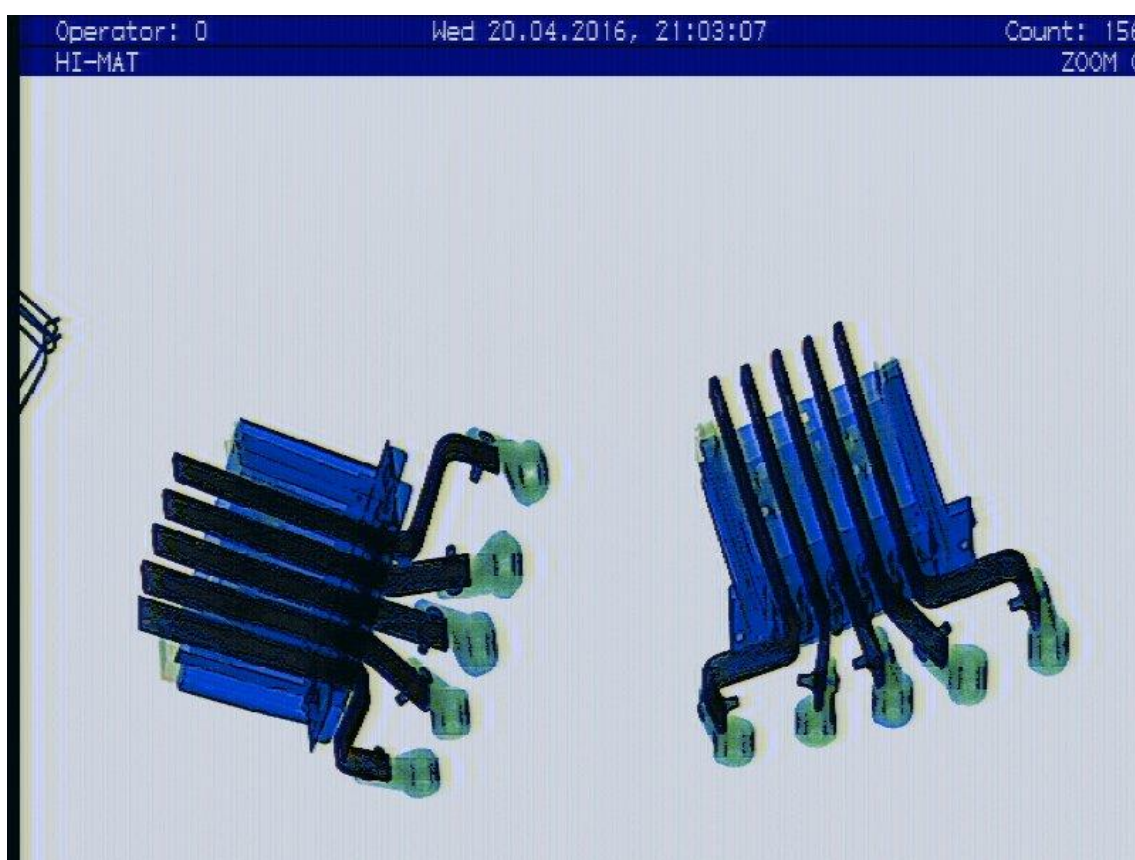
Tab. 8-5 Naměřené hodnoty na horní straně RTG přístroje

	A	B	C	D	E	F	G
[$\mu\text{Sv/h}$]	0,18	0,16	0,19	0,17	0,16	0,18	0,19

8.4 Analýza předmětů RTG přístrojem

RTG přístrojem můžeme zobrazit různé i skryté předměty. Dále podle zbarvení a odstínu jsme schopni rozpoznat i přibližně z jakého materiálu jsou předměty vyrobeny. Jelikož RTG přístroj disponuje pamětí a jsme tedy schopni snímek analyzovaných předmětů dále upravovat. Můžeme tedy měnit kontrast s lepším přiřazením barev (zobrazovat předmět téměř po vrstvách) pomocí nastavování funkce VARI-CAT dle návodu k obsluze RTG přístroje. Jako další můžeme nastavit odfiltrování všech organických či anorganických látek ze snímku pomocí vlastnosti 02/OS.

Obrázek č. 8-5 zobrazuje přípojnice, na které lze rozpoznat tři hlavních materiály. Světle modrou barvou je zobrazen obal přípojnice z plechu. Hliník je znázorněn Světle modrou až zelenou barvou. Měď jako prvek s nejvyšším protonovým číslem je na obrátku vyobrazena tmavě modrou barvou.



Obr. 8-5 RTG snímek přípojnice

Na obrázku č. 8-6 je zobrazen celý interface RTG přístroje Heimann HI-SCAN 6040-A. Obrázek zobrazuje snímek bez jakýchkoliv dodatečných nastavení. Můžeme tedy zřetelně rozpoznat síťový adaptér (zelená – plast, modrá – kov) a také celý batoh (oranžová se stíny zelené barvy).



Obr. 8-6 Snímek batohu z Heimann HI-SCAN 6040-A

9 ZÁVĚR

Na začátku se tato práce soustředila na shrnutí principu vzniku rentgenového záření, dále jeho výskyt a druhy. Dále si musíme uvědomit, jaký dopad může mít ionizující záření na organizmus při neodborné manipulaci se zdroji ionizujícího záření a je tedy nezbytné předcházet neodborné manipulaci s těmito zdroji. Rentgenové záření v současné době využíváme především v oblasti medicíny pro diagnostikování například kostních fraktur a dále za pomoci výpočetní techniky dokážeme vytvářet 3D modely. V průmyslu jsou rentgeny používány při defektoskopii na analýzu vnitřní struktury materiálů.

Práce je cílena na zabezpečení důležitých objektů, především tedy jaderných elektráren. V těchto objektech je důležité zamezit vstupu nepovolaných osob a také vnášení nebezpečných předmětů. Z toho důvodu je zavedeno množství kontrol, které jsou sestaveny pro odhalení možného porušení předpisů a možného ohrožení lidského zdraví a majetku. Součástí takové kontroly je také rentgenový skener, kterým se analyzují vnášené předměty, zda jsou hrozbou či nikoli.

Dále vzniká problematika používání rentgenových přístrojů při kontrolách, jelikož při každé takto provedené kontrole dochází k ozáření jak kontrolovaných osob, tak i k ozáření obsluhy příslušného přístroje. Je tedy důležité uvědomit si, jak vysoká míra ozáření je přijatelná pro bezpečnost. Toto téma je zmiňováno již dlouho širokou veřejností, na základě toho se SÚJB vyjádřilo, že výhody tohoto druhu bezpečnostní kontroly u osob nepřevyšují míru rizika pro obyvatelstvo.

Zdroje ionizujícího záření podléhají řadě faktorů, které jsou sepsány ve vyhlášce 422/2016 Sb. kde jsou zdroje podrobně charakterizovány a rozděleny.

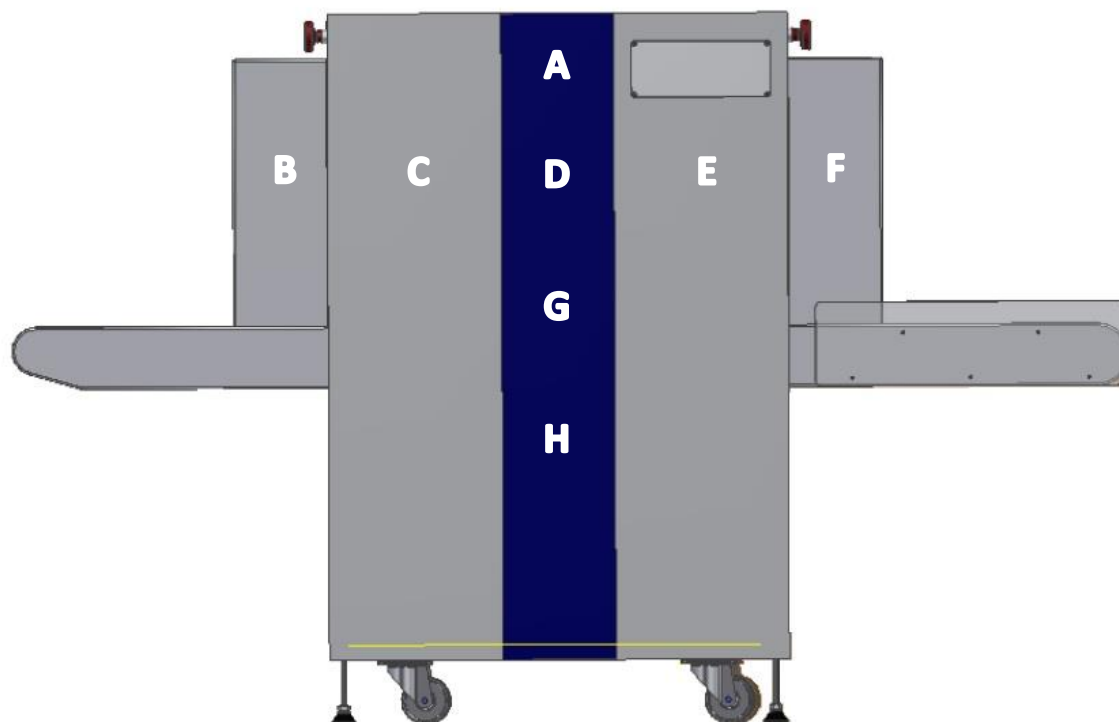
Závěrem se práce věnuje návrhu laboratorní úlohy, která je zaměřena na seznámení studentů s analýzou předmětů pomocí RTG přístroje. Dále se laboratorní úloha věnuje ověření dávkového limitu dle legislativních požadavků pro bezpečný provoz zdroje ionizujícího záření. Přičemž si student prakticky vyzkouší měření dávkového příkonu a následně bude sám schopen zhodnotit, zda laboratorní RTG přístroj vyhovuje legislativním podmínkám. Z naměřených hodnot, které jsou uvedeny v tabulkách 8-1 až 8-5 je možné říci, že v současném stavu laboratorní RTG přístroj nevyhovuje legislativním podmínkám pro bezpečný provoz. Je nutné další přeměření, a případná úprava stínění. Zhoršení vlastností stínění je možno přikládat stáří přístroje a postupné degradaci materiálů.

POUŽITÁ LITERATURA

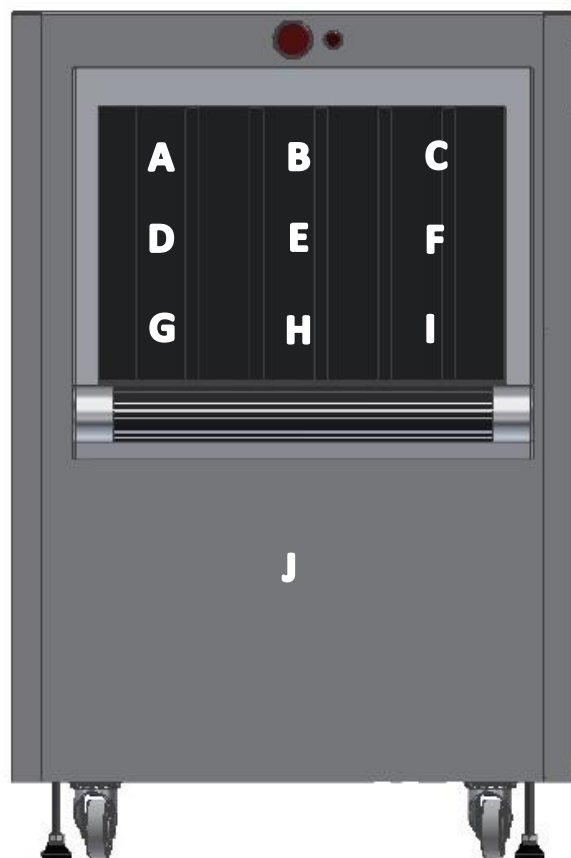
- [1] Aplikace ionizujícího záření - jaderné a radiační metody [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>
- [2] Produkce rentgenového záření – charakteristické záření [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/produkce-rentgenoveho-zareni-charakteristicke-zareni/>
- [3] Produkce rentgenového záření – brzdné záření [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/produkce-rentgenoveho-zareni-brzdne-zareni/>
- [4] PŘÍRODNÍ ZDROJE [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/zdroje_5.html
- [5] UMĚLÉ ZDROJE [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/zdroje_5.html
- [6] Stručný přehled biologických účinků záření [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickych-ucinku-zareni/>
- [7] STOCHASTICKÉ ÚČINKY [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/7-kapitola/75/751.html>
- [8] DETERMINISTICKÉ ÚČINKY [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/7-kapitola/75/752.html>
- [9] Rentgenové záření [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://cz7asm.wz.cz/fyz/index.php?page=renzar>
- [10] Rentgenka – její stavba a funkce [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/rentgenka-a-produkce-rentgenoveho-zareni/>
- [11] APLIKACE ZÁŘENÍ - MEDICÍNA [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/k31.htm>
- [12] Radioterapie [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://www.lecba-rakoviny.cz/rdioterapie>
- [13] APLIKACE ZÁŘENÍ - PRŮMYSL [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/k32.htm>
- [14] KADLEČÍKOVÁ, Jana. Bezpečnostní rentgeny pro kontrolu osob. Zlín, 2011. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16452/kadle%C4%8D%C3%ADkov%C3%A1_2011_bp.pdf?sequence=1
- [15] Používání bezpečnostních rentgenů pro kontrolu osob [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/aktualne/detail/clanek/pouzivani-bezpecnostnich-rentgenu-pro-kontrolu-osob/>
- [16] Příručka pro. Vstupní školení do Jaderné elektrárny Temelín [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/13001298-Prirucka-pro-vstupni-skoleni-do-jaderne-elektrarny-temelin.html>

- [17] VYHLÁŠKA ze dne 17. října 2016 o zabezpečení jaderného zařízení a jaderného materiálu [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlaskey/361_2016.pdf
- [18] Princip vzniku RTG záření v rentgence [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: http://www.rtg.fbmi.cvut.cz/index.php%3Foption=com_content&view=article&id=56&Itemid=62.html
- [19] Konvenční rentgeny (1): Historie [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://popular.fbmi.cvut.cz/biomedicina/Stranky/Konvencni-rentgeny-1---Historie.aspx>
- [20] Computed Tomography (CT) [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.drugs.com/health-guide/computed-tomography-ct.html>
- [21] RTG systém XIS [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: http://www.elmes.cz/RTG_zavazadla.html
- [22] Přírodní radioaktivita a problematika radonu [online]. [cit. 2017-01-12]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/radprirodni-radioaktivita-a-problematika-radonu>
- [23] Používání rentgenů - lékařské ozáření [online]. [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/zajimavosti-z-praxe-radiacni-ochrany/pouzivani-rentgenu-lekarske-ozareni/>
- [24] Detekce RTG záření [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: http://www.rtg.wz.cz/det_rtg.html
- [25] Výpočetní tomografie neboli CT: jak fungují zobrazovací metody v medicíně II. [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://atominfo.cz/2013/04/vypocetni-tomografie-neboli-ct-jak-funguji-zobrazovaci-metody-v-medicine-ii/>
- [26] Energy-Resolving Neutron Transmission Radiography at the ISIS Pulsed Spallation Source With a High-Resolution Neutron Counting Detector [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5280545/?reload=true>
- [27] Vybrané technické prostředky detekce a pyrotechnická ochrana na letišti [online]. VŠB Ostrava, 2008 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/040/.content/sys-cs/resource/PDF/letiste.pdf>
- [28] *Single View rentgeny Rapiscan* [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://www.pcs.cz/nase-reseni/kontrola-osob-zavazadel-zasilek/kontrola-zavazadel-zasilek/pouzite-technologie/rentgen-single-view/>
- [29] Bezpečnostní detektory kovů na letištích [online]. UTB Zlín, 2011 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/15059/va%C5%88%C3%A1skov%C3%A1_2011_bp.pdf?sequence=1
- [30] VYHLÁŠKA ze dne 14. prosince 2016 o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlaskey/sb0172-2016.pdf>
- [31] Bálint Szegi, Model RTG přístroje Heimann HI-SCAN 6040-A, 2014 Brno, 3D model

PŘÍLOHA Č. 1



PŘÍLOHA Č. 2



PŘÍLOHA Č. 3

